

『企業と市場のシミュレーション』

第11回：繰り返し囚人のジレンマモデル

いば たかし

井庭 崇

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

スケジュール

- 第1回 (4/ 9 金) インTRODクシヨN
- 第2回 (4/16 金) 複雑系と進化の社会システム論

- 第3回 (4/30 金) シミュレーションによる分析
- 第4回 (5/ 7 金) シミュレーション作成プロセスとUML
- 第5回 (5/14 金) 概念モデリングとシミュレーションデザイン
- 第6回 (5/21 金) シミュレーション作成演習
- 第7回 (5/22 土) シミュレーション作成演習 補講日(土曜)
- 第8回 (5/22 土) シミュレーション作成演習 補講日(土曜)

5/29の授業は休講

- 第9回 (6/ 4 金) 成長するネットワークモデル
- 第10回 (6/11 金) 規格競争のシミュレーションモデル
- 第11回 (6/18 金) 繰り返し囚人のジレンマモデル
- 第12回 (6/25 金) 貨幣の自生と自壊モデル
- 第13回 (7/ 2 金) 企業競争の進化的シミュレーションモデル

配布資料



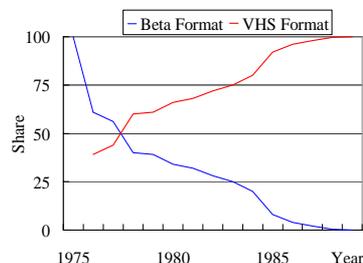
- 「マルチエージェントモデルによるバーチャル・マーケットと消費者行動」
 - 井庭崇, 竹中平蔵
 - 第2回進化経済学会
 - 1998年3月

- 「人工市場アプローチによる家庭用VTRの規格競争シミュレーション」
 - 井庭崇, 竹中平蔵, 武藤佳恭
 - 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用
 - Vol.42, No.SIG14 (TOM5),
 - 2001年12月発行

事例: 家庭用VTRの規格競争



- 本研究では規格競争の具体的な事例として、日本における家庭用ビデオテープレコーダー (VTR) の規格競争を取り上げる。
- 家庭用VTRは、1975年にBeta方式、1976年にVHS方式の二つの異なる方式の製品が発売されて以降、多くの企業を巻き込み激しい規格競争が繰り広げられた
- 結果はVHSが圧勝

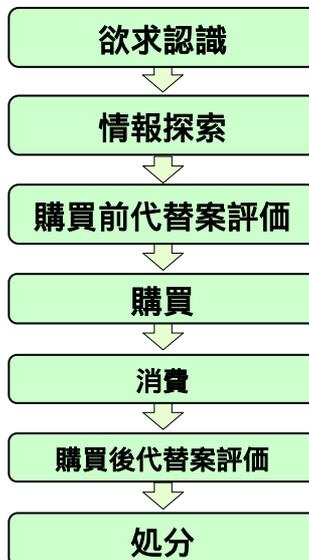


仮説の思考実験



- 複雑系経済学やネットワークの経済学では、「家庭用VTRの規格競争は、規格の互換性の影響で、ポジティブ・フィードバックがはたらき、一人勝ち現象が起こった」という話(仮説)が頻繁に言われる。
- その仮説が起こり得ることを示すために、シミュレーションによる分析を行った。
- 現実的な設定以外のことも含めて試すことにより、地域性の発生や、逆転現象についての示唆が得られた。
- また、現実のシェア推移データと合うパラメータセットを推計した。
- 2規格ではなく3規格の場合の仮想実験も行っている(論文には記載していないが)。

消費者エージェントの意思決定フェーズ



EBMモデルの基本フェーズに基づく

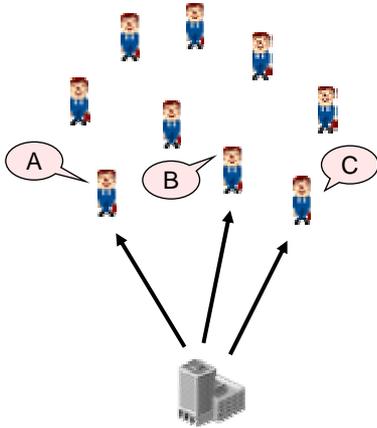
Engel, J.F., Blackwell, R.D., and Miniard, P.W., *Consumer behavior* (8th ed.), The Dryden Press, 1995

他者からの影響

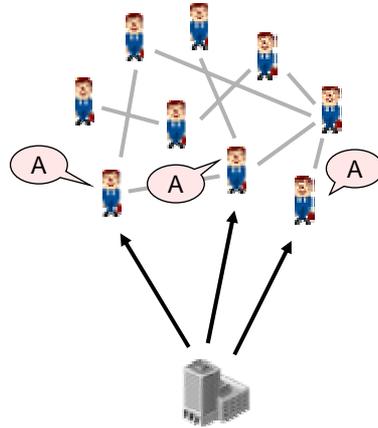


人々は孤立しているわけではなく、他の人の影響を受けて意思決定を行う。

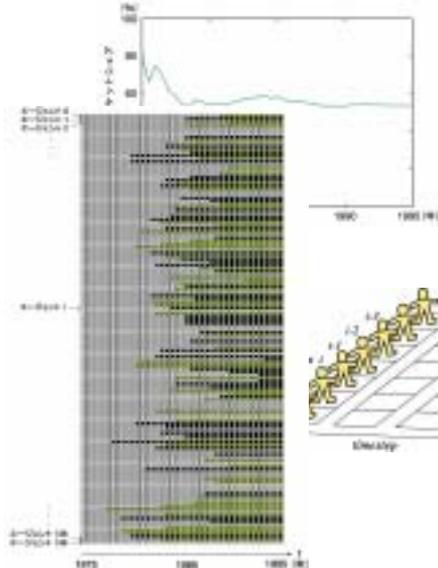
孤立した個人



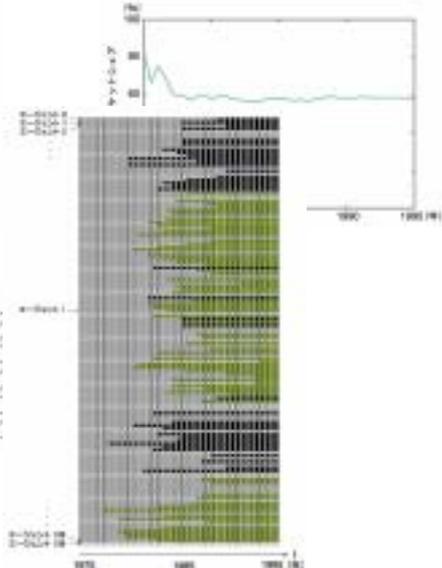
ネットワークのなかの個人



消費者間の相互作用が全くない場合



消費者間の局所的な相互作用



『企業と市場のシミュレーション』

第11回：繰り返し囚人のジレンマモデル

いば たかし

井庭 崇

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

企業と市場のシミュレーション(第11回)

1

複雑系と進化のモデル表現

2

繰り返し囚人のジレンマモデルの紹介

3

繰り返し囚人のジレンマモデルの改造

企業と市場のシミュレーション(第11回)

1 複雑系と進化のモデル表現

2 繰り返し囚人のジレンマモデルの紹介

3 繰り返し囚人のジレンマモデルの改造

複雑系 (Complex System)

■ 自己革新するシステム

- 生命、知能、社会



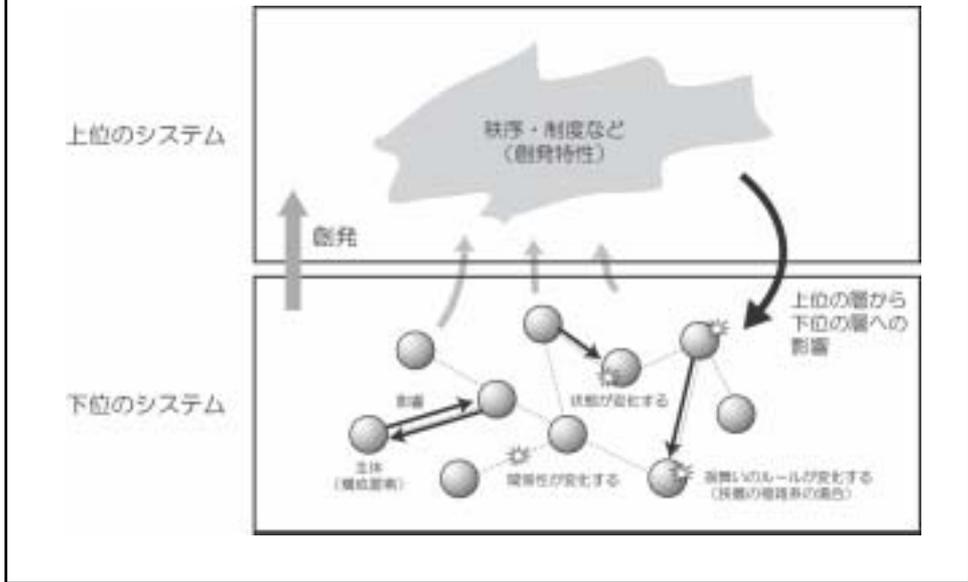
■ 広義の定義

- 内部状態をもつ構成要素が相互作用するシステム

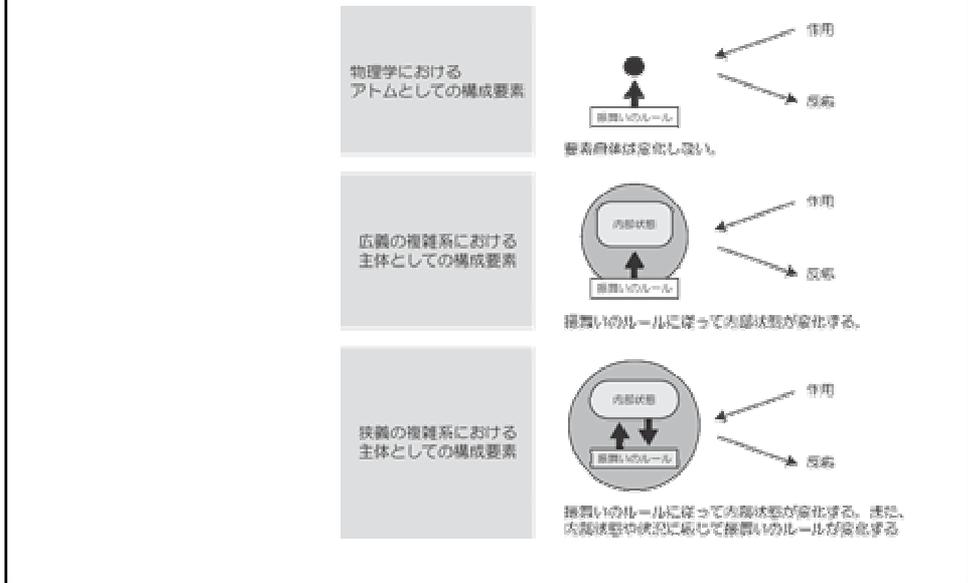
■ 狭義の定義

- 構成要素の振舞いのルールが動的に変化するシステム

複雑系の全体像

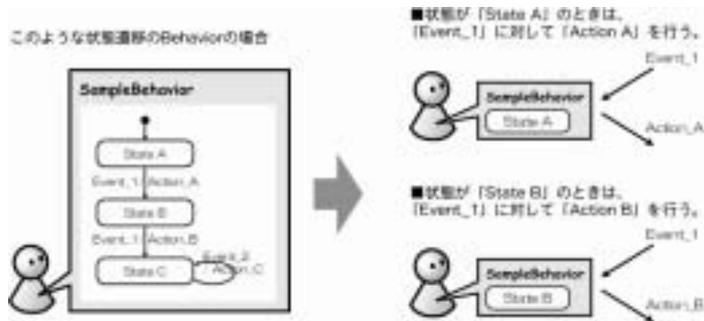


複雑系の構成要素



「広義の複雑系」のモデル表現

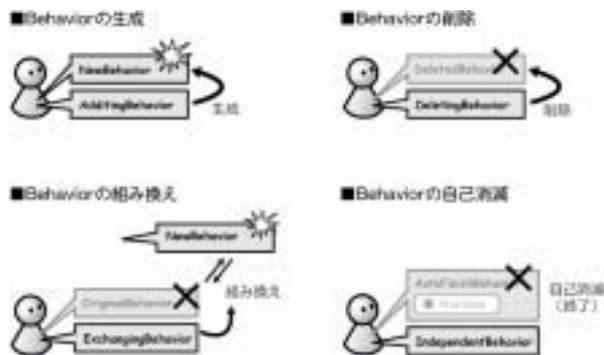
■ 内部状態によって反応が異なるというモデル



このエージェントは、Behaviorのそのときの状態によって、同じイベントに対して異なる反応をする。つまり、State AのときにはAction Aを行い、State BのときにはAction Bを行う。

「狭義の複雑系」のモデル表現

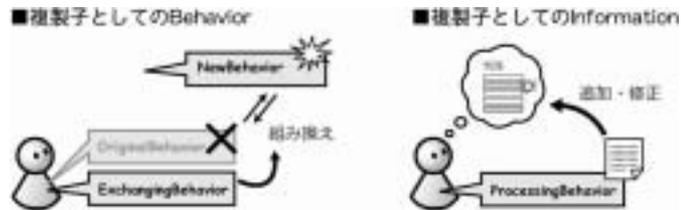
■ 行動のルールが動的に変化するというモデル



エージェントは、Behaviorを動的に追加・交換することができ、また、Behaviorを削除したり、Behaviorの状態遷移が完了すると自動的に消滅するようにすることもできる。これらによって、エージェントの振舞いの変化を表現できる。

「進化」のモデル表現

■ 変異を伴う複製が行われるモデル



BehaviorやInformationは複製子として扱うことができる。その進化のメカニズムはふつうBehaviorとして記述するが、その一部をInformationとして記述し、保持・交換させることもできる。

企業と市場のシミュレーション(第11回)

1 複雑系と進化のモデル表現

2 繰り返し囚人のジレンマモデルの紹介

3 繰り返し囚人のジレンマモデルの改造

「囚人のジレンマ」モデル？

- 1950年頃、心理学研究のなかでM.FloodとM.Dresherによって提唱
- A.W.Tuckerが「囚人のジレンマ」というストーリー仕立てで広めた
- 政治学や経済学、社会学など幅広い分野で、利己的な主体間で利害が対立する状況の中で、どのように協調が形成されるのかを調べる枠組みとしてしばしば用いられている。
- 冷戦時代の米ソの核軍拡競争
- 会社内の出世競争
- 技術開発委託先選定
- 企業合併後の組織統合

Cf. 『MBAゲーム理論』(グロービス・マネジメント・インスティテュート(編),ダイヤモンド社,1999)

Cf. 『ゲーム理論で解く』(中山幹夫,武藤滋夫,船木由喜彦(編),有斐閣,2000)

囚人のジレンマ

- 囚人のジレンマゲームでは、二人のプレイヤーがそれぞれ独立に協調(Cooperation)か裏切り(Defection)かのどちらかの行動をとる。
- 選択の組合せによって、異なる利得が得られる。
 - 両者が協調すれば3点ずつ
 - 裏切りあえば1点ずつ
 - 片方だけ協調し他方が裏切れば、それぞれ0点と5点

| | | プレイヤーBの行動 | |
|-----------|-----|-----------|------|
| | | 協調 | 裏切り |
| プレイヤーAの行動 | 協調 | 3, 3 | 0, 5 |
| | 裏切り | 5, 0 | 1, 1 |

繰り返し囚人のジレンマゲーム

- 囚人のジレンマゲームを反復的に行う。
- それぞれの試合では決められた回数のお戦が行われ、試合が終了すると最終的な得点が記録される。
- すべてのプレイヤーは総当りで他のすべてのプレイヤーと試合を行っていき、総当りが実現するとそのコンテストが終了する。

- あらかじめわかっている有限回の対戦であれば、裏切る方がより高い利得を得られることがわかっている。
- しかし、いつまで続くかわからない場合には、必ずしもそのような結果にはならず、万能の戦略がないといわれている。

第1回繰り返し囚人のジレンマゲーム大会

- 1970年代
- R. Axelrod
- 「複雑な戦略で構成される多彩な環境では、どのようなタイプの戦略が成功するかを知るために、私は囚人のジレンマに関するコンピュータ・トーナメントを主催した。」
- 「選手権の出場者は、経済学者、心理学、社会学、政治学および数学の各分野で活躍するゲーム理論の研究者であり、これらのべー四人の応募作に、『でたらめ』(RANDOM)というプログラムを加えて、総当りのリーグ戦方式で競わせてみた。」
- 勝者は『しっぺ返し』(TIT FOR TAT)
 - 最初は協調し、次からは相手が前回とった行動を真似するという戦略である。

『対立と協調の科学: エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明』
(ロバート・アクセルロッド, ダイヤモンド社, 2003)

『つきあい方の科学: バクテリアから国際関係まで』
(ロバート・アクセルロッド, HBJ出版局, 1987)

第2回繰り返し囚人のジレンマゲーム大会

- 第一回の結果を踏まえて、第二回の大会も行われた。
- 「今度は六つの国から六二人の応募者があった。その大半はコンピュータ愛好家であったが、中には進化生物学者、物理学者、コンピュータ・サイエンスの各教授、それと前回の参加者も五人含まれていた」
- またしても勝者は『しっぺ返し』(TFT)

『つきあい方の科学: バクテリアから国際関係まで』
(ロバート・アクセルロッド, HBJ出版局, 1987)

「繰り返し囚人のジレンマゲーム」の位置

- 「2人プレイヤーの「繰り返し囚人のジレンマゲーム」は、生物学における「大腸菌」のような共通の素材である。この社会科学の「大腸菌」を使うと、共通の枠組みのなかで非常に広範囲な研究が可能である。
- 実際、「繰り返し囚人のジレンマゲーム」は、進化生物学、コンピュータ・ネットワーク・システムといった多様な分野の問題を研究する標準的なパラダイムとさえなった。
- この問題は、非常にわかりやすいために、政治学者、経済学者、社会学者、哲学者、数学者、コンピュータ科学の研究者、進化生物学者をはじめとする多くの人びとがそれについて話しあうことができる。」(ロバート・アクセルロッド)

『対立と協調の科学: エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明』
(ロバート・アクセルロッド, ダイヤモンド社, 2003)

今日紹介する簡単な拡張モデル

- 戦略の模倣を組み込んだモデル
 - 井庭崇, 『社会・経済シミュレーションの基盤構築: 複雑系と進化の理論に向けて』, 博士論文, 2003年
 - 井庭崇, 『複雑系と進化のモデル・フレームワーク』, 『進化経済学のフロンティア』, 西部忠 (編), 日本評論社, 2004年夏出版予定



戦略(行動ルール)

- 各プレイヤーは、過去の手を踏まえて次の自分の手を決めるための「戦略」(行動ルール)をもっている。

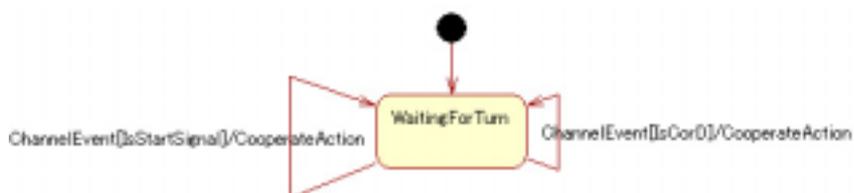


今回用意した戦略

- ALL-C
 - 相手の手に関係なく、必ず協調する
- ALL-D
 - 相手の手に関係なく、必ず裏切る
- RANDOM
 - 相手の手に関係なく、協調と裏切りをランダムに選択する
- TFT
 - 最初は協調し、次からは相手が前回とった行動を真似する
- TF2T
 - 最初は協調し、2回連続して相手が裏切ったときに、裏切る
- FRIEDMAN
 - 最初は協調し、相手が裏切らないかぎり協調を続ける。相手が一度でも裏切ると、それ以降はずっと裏切り続ける
- JOSS
 - TFTと同様に、最初は協調し、相手に裏切られると裏切り返す。相手が協調した場合には、9割協調して、1割裏切る
- PER-CD
 - 協調、裏切り、協調、裏切り……を繰り返す
- PER-CCD
 - 協調、協調、裏切り、協調、協調、裏切り……を繰り返す

戦略(行動ルール)の状態遷移

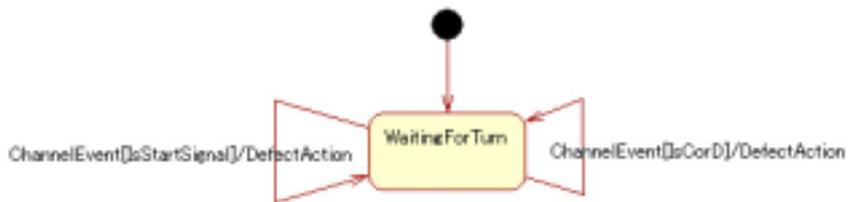
- ALL-C戦略
 - 相手の手に関係なく、必ず協調する



戦略(行動ルール)の状態遷移

■ ALL-D戦略

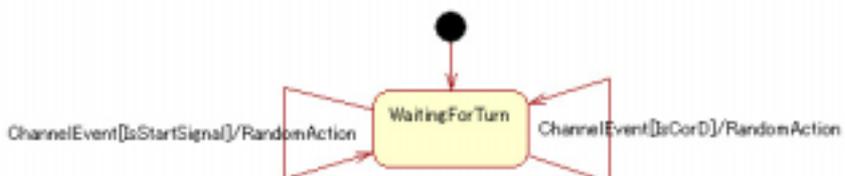
- 相手の手に関係なく、必ず裏切る



戦略(行動ルール)の状態遷移

■ RANDOM戦略

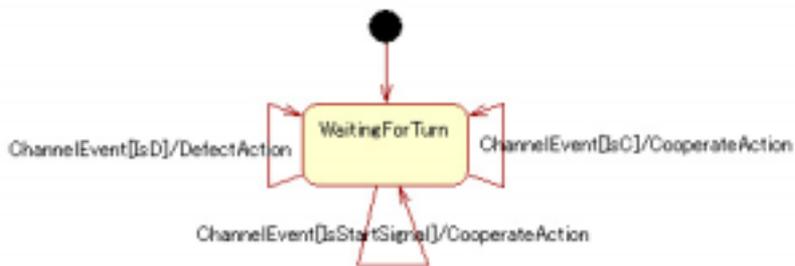
- 相手の手に関係なく、協調と裏切りをランダムに選択する



戦略(行動ルール)の状態遷移

■ TFT戦略

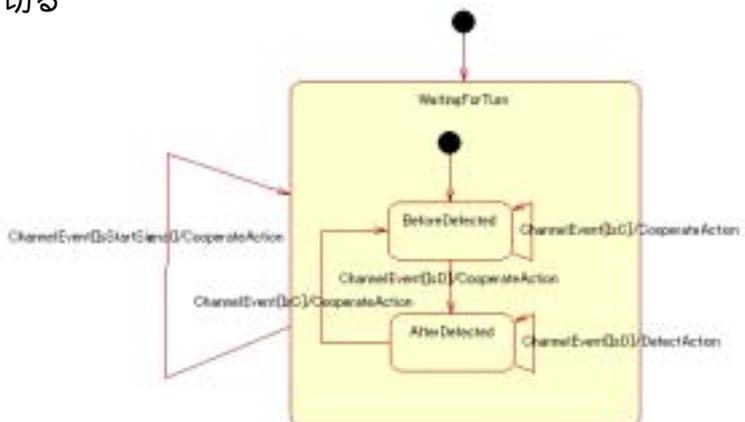
- 最初は協調(C)し、次からは相手が前回とった行動を真似する



戦略(行動ルール)の状態遷移

■ TF2T戦略

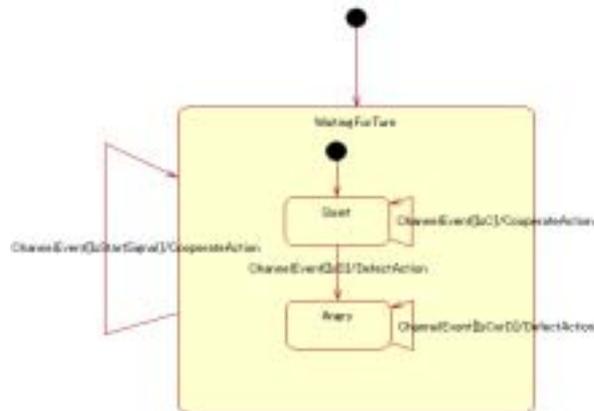
- 最初は協調し、2回連続して相手が裏切ったときに、裏切る



戦略(行動ルール)の状態遷移

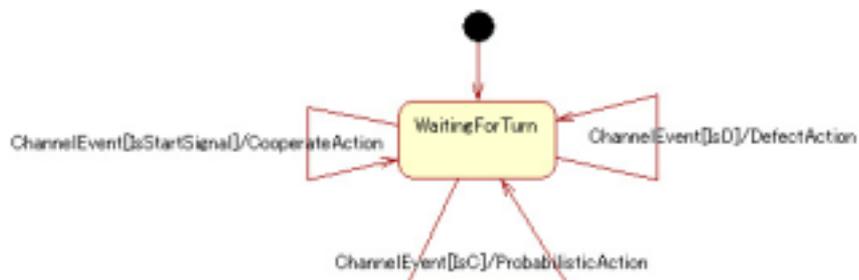
■ FRIEDMAN戦略

- 最初は協調し、相手が裏切らないかぎり協調を続ける。相手が一度でも裏切ると、それ以降はずっと裏切り続ける



戦略(行動ルール)の状態遷移

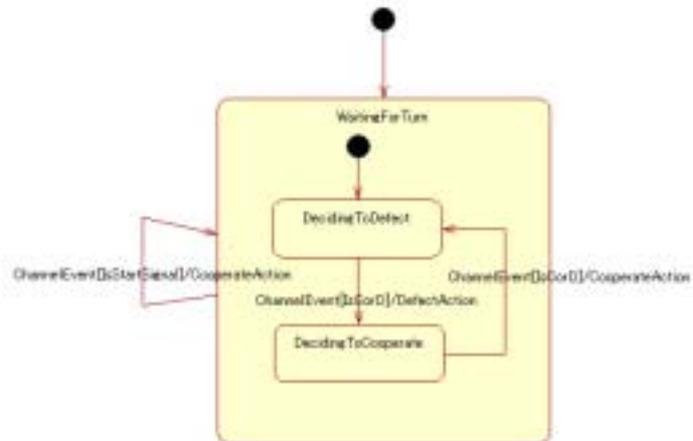
■ JOSS戦略



戦略(行動ルール)の状態遷移

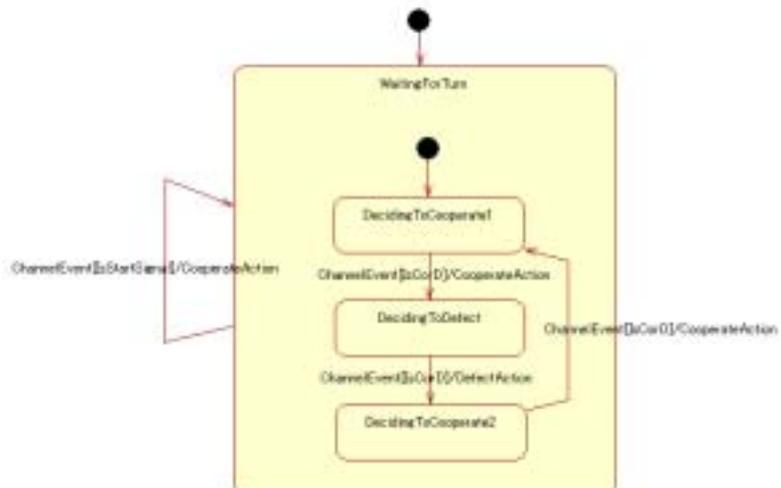
■ PER-CD戦略

- 協調、裏切り、協調、裏切り……を繰り返す



戦略(行動ルール)の状態遷移

■ PERCCD戦略



1回のコンテストの結果

表 8.1: 繰り返し四人のジレンマトーナメントのシミュレーション結果

| | ALL-C | ALL-D | PER-CD | TFT | TF2T | JOSS | FRIE | RAND | 平均 |
|----------|-------|-------|--------|-----|------|------|------|------|-----|
| ALL-C | | 0 | 300 | 600 | 600 | 540 | 600 | 282 | 391 |
| ALL-D | 1000 | | 600 | 204 | 208 | 204 | 204 | 576 | 355 |
| PER-CD | 800 | 100 | | 503 | 800 | 471 | 107 | 466 | 405 |
| TFT | 600 | 199 | 498 | | 600 | 259 | 600 | 450 | 423 |
| TF2T | 600 | 198 | 300 | 600 | | 530 | 600 | 381 | 423 |
| JOSS | 640 | 199 | 506 | 264 | 645 | | 211 | 450 | 391 |
| FRIEDMAN | 600 | 199 | 597 | 600 | 600 | 211 | | 611 | 446 |
| RANDOM | 812 | 106 | 446 | 450 | 596 | 415 | 101 | | 372 |

戦略の変更



Player



Player



Player



Player

戦略模倣メカニズムの導入

- 各コンテスト終了後に、それぞれのPlayerエージェントが自分より強い相手の戦略を模倣し、コンテストを繰り返していく。
- 模倣相手の候補選択は、シミュレーションの設定によって、次のいずれかの方法で行うことにする。
 - 試合結果による選択
 - コンテスト結果による選択
- 候補が複数の場合には、その中からランダムに選択することにする。

試合結果による戦略模倣

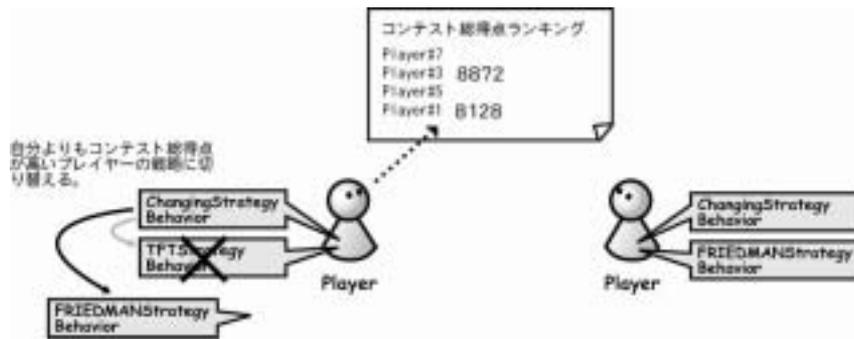
- 個別対戦において、自分に勝ったプレイヤーの戦略を採用する。すなわち、個別対戦というミクロ的な結果に基づく。

自分に勝った試合相手の戦略に切り替える。



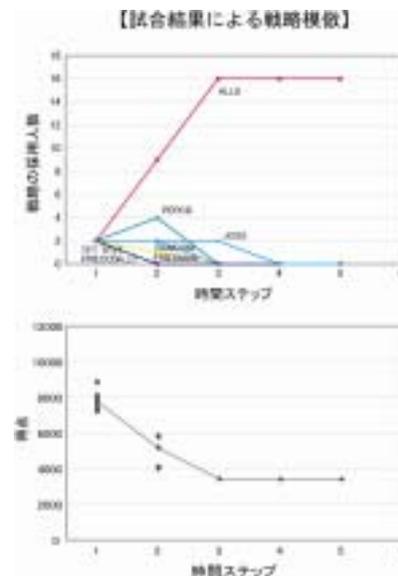
コンテスト結果による戦略模倣

- コンテストにおける総得点が、自分よりも高いプレイヤーの戦略を採用する。すなわち、コンテスト総得点というマクロ的な結果に基づく。



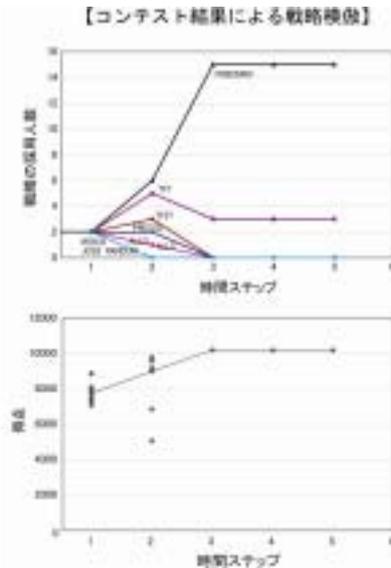
試合結果による戦略模倣のシミュレーション結果

- 1試合200対戦で、各戦略ごとに2人ずつPlayerエージェント
- 数ステップで「ALL-D」戦略のみになる。
- 平均得点は初期状態よりも低い水準になる。最終的に「ALL-D」戦略のみになった状況では全員が裏切りあうため、社会的にみて得点が低い水準になる。



コンテスト結果による戦略模倣のシミュレーション結果

- 1試合200対戦で、各戦略ごとに2人ずつPlayerエージェント
- 「FRIEDMAN」戦略や「TFT」戦略が広まる。
- 平均得点は初期状態よりも高い水準になる。平均得点が高いのは、広まった戦略における協調の効果である。最終的に「FRIEDMAN」戦略や「TFT」戦略のみになったときには、すべての対戦で協調するため、社会的にみて得点が高い水準になるのである。



複雑系と進化のモデルとしての側面

- 広義の複雑系
 - Playerエージェントは、同じ戦略を持っている場合でも、それまでの経緯によって(選択の履歴によって)、協調することもあれば裏切ることもある。自分の内部状態によって反応が異なるという点において、広義の複雑系のモデルになっている。
- 狭義の複雑系
 - それぞれのPlayerエージェントが戦略の変更を行うが、これは行動のルールが変化するという意味で、狭義の複雑系のモデルになっている。
- 進化
 - 戦略が模倣されて受け継がれることから、進化的なモデルといえる。

企業と市場のシミュレーション(第11回)

1 複雑系と進化のモデル表現

2 繰り返し囚人のジレンマモデルの紹介

3 繰り返し囚人のジレンマモデルの改造

Keio University SFC 2004

『企業と市場のシミュレーション』

第11回: 繰り返し囚人のジレンマモデル

いば たかし

井庭 崇

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

囚人のジレンマに関する文献

- 『対立と協調の科学: エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明』 (ロバート・アクセルロッド, ダイヤモンド社, 2003)
- 『つきあい方の科学: バクテリアから国際関係まで』 (ロバート・アクセルロッド, HBJ出版局, 1987)